

УДК 621.317.7

М.О. Петрище

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗМІННОГО СТРУМУ

Інститут інформаційно-діагностичних систем НАУ, e-mail: qq000@yandex.ru

Проведено аналіз методів проектування лічильників реактивної енергії, що базуються на використанні сучасних спеціалізованих засобів, призначених для вимірювання активної енергії. Відмічено недоліки таких методів щодо можливості несанкціонованого відбору реактивної енергії при неправильному фазуванні струму. Запропоновано метод, що дозволяє конструювати лічильники реактивної енергії нечутливими до фазування струму.

Вступ

У сучасному електропостачанні зменшення втрат електричної енергії, зумовлених перетіканням реактивної енергії, є однією з обов'язкових умов енергозбереження.

Методикою [1] встановлюється економічне стимулювання споживачів для підвищення коефіцієнта потужності їх навантаження. Для цього введена плата за реактивну енергію, яка є за своєю суттю розрахунковою величиною і дозволяє визначити коефіцієнт потужності споживача [2]. На практиці реактивна енергія вимірюється за допомогою лічильників реактивної енергії. За відсутності лічильників реактивної енергії методикою [1] встановлюється плата за реактивну енергію залежно від споживаної активної енергії та характеристики споживача (промисловий чи не промисловий).

До останнього часу вироблялися лише індукційні лічильники реактивної енергії, але оскільки електронні мають перед ними безперечні переваги (більшість з них наведена в праці [3]), то розробляються або вдосконалюються саме такі лічильники.

Метою статті є аналіз принципів конструювання електронних лічильників реактивної енергії змінного струму з огляду як їх метрологічних характеристик, так і їх захисту від несанкціонованого відбору електричної енергії.

Основні принципи вимірювання реактивної енергії

Розробка нових типів лічильників реактивної енергії ведеться в Україні за національним стандартом [4]. Згідно з цим стандартом реактивна енергія в однофазній схемі визначається як часовий інтеграл добутку значень напруги та струму на синус кута між ними, у трифазній – як сума реактивних енергій у кожній фазі.

На даний час особливий інтерес становлять цифрові методи вимірювання, що базуються на дискретизації сигналів через однакові часові проміжки часу за період одного з сигналів. У та-

кому випадку значення активної потужності P може бути отримано в кінці кожного періоду за таким алгоритмом [5]:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} U[n] I[n], \quad (1)$$

де N – кількість вибірок на період [5]; $U[n]$ та $I[n]$ – елементи масивів миттєвих значень входних напруги та струму, отриманих через рівні проміжки часу $T_n = (T/N)$ на періоді T .

Для отримання значення активної потужності, яка потім інтегрується в часі, по кожній фазі в трифазному лічильнику активної енергії алгоритм (1) реалізується у вигляді

$$P = \frac{1}{k_1} \frac{1}{k_2} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} U_1[n] U_2[n], \quad (2)$$

де k_1 – коефіцієнт перетворення входного перетворювача напруга – напруга; k_2 – коефіцієнт перетворення входного перетворювача струм – напруга; $U_1[n]$ та $U_2[n]$ – елементи масивів миттєвих значень напруг, відповідних входним напругам та струму.

Структурну схему, що реалізує алгоритм (2) без входних перетворювачів, показано на рис. 1.

Аналого-цифрові перетворювачі ADC1 та ADC2 призначені для формування елементів масивів миттєвих значень входних напруг U_1 та U_2 .

Отримані масиви $U_1[n]$ та $U_2[n]$ перемножуються поелементно в перемножувачі цифрових кодів M . Отримані миттєві значення потужності $P[n]$ усереднюються фільтром нижніх частот DF .

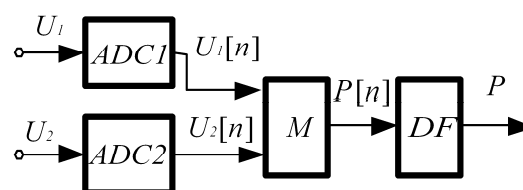


Рис. 1. Структурна схема обчислювача активної потужності однієї фази:

ADC1; ADC2 – аналого-цифрові перетворювачі; M – перемножувач цифрових кодів; DF – цифровий фільтр

Усі елементи структурної схеми (рис. 1) на практиці реалізуються на спеціалізованих мікросхемах (наприклад, ADE 7752 фірми Analog Devices) або за допомогою програмованих компонентів.

Основні принципи конструювання лічильників реактивної енергії базуються на створенні 90-градусного зсуву між фазними струмами та відповідними ним фазними напругами. 90-градусного зсуву можна досягти між фазними напругою та струмом за допомогою перетворювачів струму у вигляді повітряних трансформаторів (котушок Роговського) і вмикати вимірювальні елементи лічильника так, як показано на рис. 2.

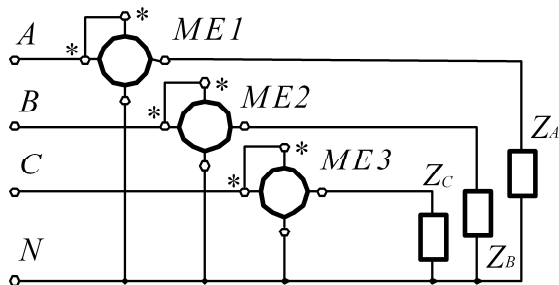


Рис. 2. Схема вмикання лічильника реактивної енергії з повітряними трансформаторами струму: ME1, ME2, ME3 – вимірювальні елементи лічильника; A, B, C, N – фазні та нейтральні провідники 3-фазної 4-провідної мережі; Z_A , Z_B , Z_C – навантаження відповідно у фазах A, B та C

Під вимірювальним елементом розуміють частину лічильника, що формує на виході імпульси, кількість яких пропорційна вимірюваній енергії [4; 6; 7]. 90-градусний зсув можна отримати також між лінійними напругами і фазними струмами. Тоді вимірювальні елементи вмикаються, як це показано на рис. 3.

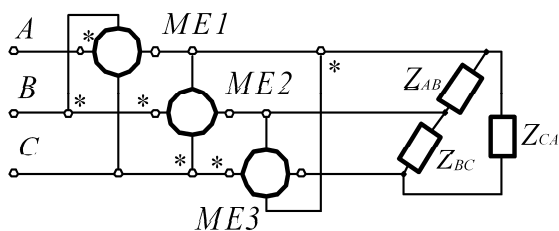


Рис. 3. Схема вмикання лічильника реактивної енергії з трансформаторами струму з металевими сердечниками: ME1, ME2, ME3 – вимірювальні елементи лічильника; A, B, C – фазні провідники 3-фазної 3-провідної мережі; Z_{AB} , Z_{BC} , Z_{CA} – лінійні навантаження відповідно в лініях AB, BC та CA

Неважко передбачити, що, якщо лічильник, виконаний за схемою, показаною на рис. 2, буде продовжувати облік реактивної енергії при обриві однієї чи двох фаз, то лічильник, виконаний за

схемою, показаною на рис. 3, не обліковуватиме навіть при обриві однієї фази. Дійсно, наприклад, при перериванні фази A лінійні напруги U_{AB} та U_{AC} будуть дорівнювати нулю.

Національним стандартом [4], як і в міжнародному стандарті [6], не висувається спеціальних вимог щодо роботи лічильників при перериванні фаз. Однак така ситуація ймовірна і може привести до значного недообліку реактивної енергії. Тому додаткові заходи, які виключають недооблік, здатні значно підвищити конкурентоспроможність лічильників. Крім цього, для електронних лічильників активної енергії стандартом [7] нормуються метрологічні характеристики при перериванні однієї та двох фаз.

Аналіз впливу оберненого струму на лічильники електричної енергії

Залежно від кута зсуву між фазною напругою та фазним струмом знаки активної та реактивної потужності визначаються, як це показано на рис. 4 [5].

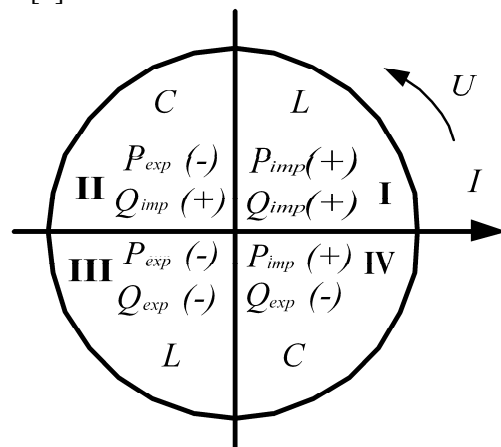


Рис. 4. Графічне зображення активної та реактивної енергії:

P_{imp} , P_{exp} – квадранти діаграми, які відповідають споживанню та генерації активної енергії; Q_{imp} , Q_{exp} – квадранти діаграми, які відповідають споживанню та генерації реактивної енергії

Для активної потужності знак позитивний у першому і четвертому квадрантах діаграми, що вказують на споживання електричної енергії (у першому квадранті при індуктивному навантаженні, у четвертому – при ємнісному). При генерації споживачем електричної енергії активна енергія має негативний знак (другий і третій квадранти).

Розглянемо приклад. При споживанні активної електричної енергії з індуктивним симетричним навантаженням ($P_A = P_B = P_C = P$) в одній із фаз (наприклад, B) змінено фазування струму, що зміщує вектор активної потужності з першо-

го, де знак позитивний, у третій квадрант, де знак негативний.

При алгебричній сумі потужностей кожної фази отримуємо потужність

$$P_{\Sigma} = P_A - P_B + P_C = P.$$

Дійсна потужність складатиме

$$P_{\Sigma D} = P_A + P_B + P_C = 3P.$$

Похибка вимірювання становить

$$\delta = \left(1 - \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma D}}\right) 100 = \left(1 - \frac{P}{3P}\right) 100 = 66, (6) \%.$$

Для нечутливості лічильників активної енергії до зміни фазування струму достатньо застосувати арифметичне додавання, тобто знак узагалі не враховувати. Це унеможливить обліковувати активну енергію таких споживачів, що і генерують, і споживають електричну енергію. Але оскільки таких споживачів украї мало, то такий спосіб знайшов широке застосування.

Для лічильників реактивної енергії в методиці [1] передбачається окремий облік реактивної енергії індуктивного (перший квадрант) та ємнісного характеру (четвертий квадрант). При арифметичному додаванні втрачаються відомості про характер навантаження, тому такий варіант захисту від неправильного фазування струму неможливий.

Постановка завдання

За допомогою алгоритму (2) визначається активна потужність у кінці кожного періоду. Для можливості використання цього алгоритму під час визначення реактивної потужності при одночасній нечутливості до неправильного фазування струму його необхідно доопрацювати.

Розв'язок

Поставлене завдання вирішується шляхом визначення дійсного знаку реактивної потужності в кожній фазі електромережі, що дозволяє зробити лічильник нечутливим до зміни фазування струму. Розглянемо суть запропонованого методу.

Для правильних показань лічильника реактивної енергії при зворотному струмі необхідно, щоб реактивна потужність, отримана за алгоритмом (2), мала один і той самий знак у першому і третьому квадрантах (нехай вона вважається додатною) і протилежний – у другому і четвертому (у цих квадрантах вона вважатиметься від'ємною). Структурну схему, яка дозволяє визначати знак реактивної потужності, показано на рис. 5.

Призначення елементів ADC1, ADC2, M, DF – аналогічне відповідним елементам структурної схеми показаної на рис. 1.

Комутатор K призначений для вмикання одного з формувачів знаку MS1 чи MS2. Комутатор нормально замкнений на формувач MS1 та замикається на MS2 за наявності керуючого сигналу від одного з пристроїв порівняння DC1 чи DC2.

Формувач знаку MS1 призначений для отримання на виході перетворювача результату $P_v = -|P|$, а формувач знаку MS2 – результату $P_v = |P|$.

Перетворювач FDC здійснює перетворення зсуву фаз між напругами U_1 та U_2 в еквівалентний цифровий код N . Пристрій порівняння DC1 виробляє керуючий сигнал для комутатора, коли

$$N \leq N_1,$$

де N_1 – код, що відповідає 90-градусному зсуву фаз:

$$N_1 = \frac{f_g}{4f_n};$$

f_g – опорна частота внутрішнього генератора перетворювача зсуву фаз; f_n – частота мережі: $f_n = 50$.

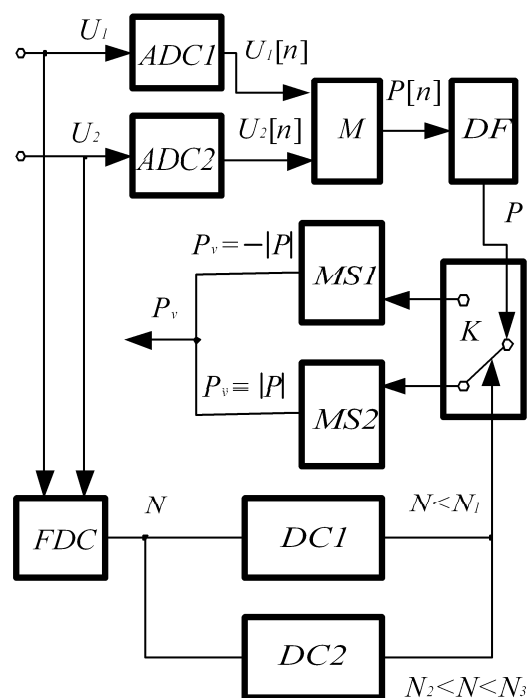


Рис. 5. Структурна схема для вимірювача реактивної потужності з нечутливістю до фазування струму:

ADC1, ADC2 – аналого-цифрові перетворювачі; M – перемножувач цифрових кодів; DF – цифровий фільтр; K – комутатор; MS1, MS2 – формувачі знаку вихідного результату; FDC – перетворювач зсуву фаз у код; DC1, DC2 – пристрої порівняння цифрових кодів

Пристрій порівняння DC2 призначений для утворення керуючого сигналу для комутатора, коли $N_2 \leq N \leq N_3$,

де N_2 – код, що відповідає 180-градусному зсуву фаз:

$$N_2 = \frac{f_g}{2f_n};$$

N_3 – код, що відповідає 270-градусному зсуву фаз:

$$N_3 = \frac{3f_g}{4f_n}.$$

Передбачені запропонованим методом додаткові операції виключають можливість несанкціонованого відбору електроенергії і не погіршують економічних і технічних показників лічильників, оскільки можуть бути реалізовані на мікроконтролері, що належить до складу базового електронного лічильника (рис. 1).

Перспективи подальших досліджень

Для практичного застосування розробленого методу при подальших дослідженнях необхідно визначити мінімальну опорну частоту f_g , якою квантується інтервал часу, що відповідає зсуву фаз між напругами U_1 та U_2 .

Критерієм прийнятності є функціонування лічильника реактивної енергії відповідно до технічних характеристик у межах коефіцієнта потужності, установлених стандартом [4].

Для практичного застосування потрібно адаптувати алгоритм до можливих змін частоти мережі f_n у межах, установлених стандартом [4].

Висновки

Існуючі електронні лічильники реактивної енергії реалізовані на спеціалізованих засобах вимірювання активної енергії. Це створює умови для можливого несанкціонованого відбору електричної енергії.

Запропоновано метод побудови лічильника реактивної енергії, нечутливого до фазування струму. Ця властивість досягається через визначення знаку реактивної потужності з урахуванням характеру навантаження (індуктивного чи ємнісного).

При реалізації розробленого методу не погіршуються технічні та економічні показники лічильника.

Запропонований метод може бути використаний у приладобудуванні при розробці нових типів електронних лічильників реактивної енергії, захищених від неправильного фазування струму.

Список літератури

1. *Методика* розрахунків за перетікання реактивної енергії між електропередавальною організацією та споживачами // Офіц. вісн. України. – 2002. – №6. – С. 268–298.
2. Мансуров Н.Н., Попов В.С. Теоретическая электротехника. – М.: Энергия, 1968. – 576 с.
3. Петрище М.О. Перевірка порога чутливості та роботи без навантаження електронних лічильників // Вісн. НАУ. – 2004. – №2. – С. 15–18.
4. ДСТУ ІЕС 61268-2001. Лічильники реактивної енергії змінного струму статичні (класів точності 2 та 3). – К.: Держ. ком. України з питань техн. регулювання та споживчої політики. – 2002. – 34 с.
5. Карасинский Л.О., Тесик Ю.Ф. Алгоритм измерения мощности, ориентированный на реализацию в микроконтроллерах // Электродинамика. – 2001. – № 1. – С. 76–78.
6. ІЕС 61268:1995. Alternating current static var-hour meters for reactive energy (classes 2 and 3). – Geneva, 1995. – 30 с.
7. ГОСТ 30207-94. Статические счетчики ватт-часов активной энергии переменного тока (классы точности 1 и 2). – К.: Госстандарт Украины. – 1994. – 52 с.

Стаття надійшла до редакції 28.09.04.

Н.А. Петрище

Особенности проектирования электронных счетчиков реактивной энергии переменного тока

Проведен анализ методов проектирования счетчиков реактивной энергии, базирующихся на использовании современных специализированных средств, предназначенных для измерения активной энергии. Отмечены недостатки таких методов, касающиеся возможности несанкционированного отбора электрической энергии при неправильном фазировании тока. Предложен метод, позволяющий конструировать счетчики реактивной энергии, нечувствительные к фазированию тока.

M.O. Petrischtsche

Singularities of construction of static var-hour meters alternating-current

The analysis of construction of static var-hour meters is carried out which are founded on use of specialized tools, which are intended for measurement of a active energy. The shortages of such methods concerning a possibility of unauthorized takeoff of an electric energy are marked through improper phasing of a current. The method is offered which allows to construct static var-hour meters insensitive to improper phasing of a current.